

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **89200139.7**

51 Int. Cl.⁵: **B22C 9/12**

22 Anmeldetag: **24.01.89**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
01.08.90 Patentblatt 90/31

64 Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH DE ES FR GB GR IT LI LU NL SE

71 Anmelder: **Harald Steffens**
Giessereimaschinen
Gutenbergstrasse 3
D-4130 Moers 1(DE)

Anmelder: **GEMI GESELLSCHAFT FÜR MESS-
 UND INFORMATIONSTECHNIK MBH**
Bismarckstrasse 67

D-4100 Duisburg 1(DE)

72 Erfinder: **Jaeger, Erhard, Prof. Dipl.-Ing.**
Innstrasse 1
D-4020 Mettmann(DE)
 Erfinder: **Steffens, Uwe**
Gutenbergstrasse 3
D-4130 Moers 1(DE)

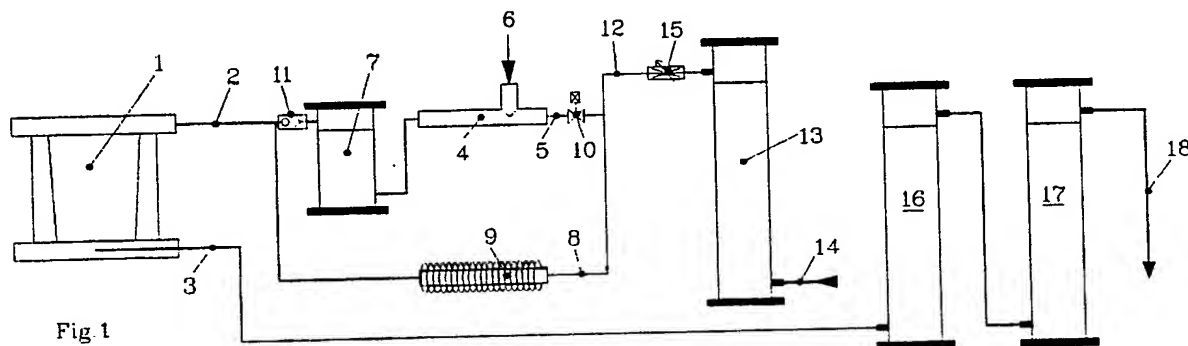
74 Vertreter: **Ackmann, Günther, Dr.-Ing.**
Claubergstrasse 24 Postfach 10 01 01
D-4100 Duisburg 1(DE)

54 **Verfahren zum Aushärten von Formkörpern, insbesondere von Giessformen oder -kernen aus Formsand.**

57 Dem Aushärten von Formkörpern, insbesondere von Gießformen oder -kernen aus Formsand dient ein Verfahren, bei dem ein Katalysator/Luftgemisch durch eine mit einem aushärtenden Bindemittel versetzte Formmasse (1) und das aus der Form entweichende Gasgemisch durch einen den Katalysator vom Luftstrom trennenden Adsorptionsapparat (16, 17) geleitet wird. Für eine Rückgewinnung und Wiederverwertung des Katalysators wird in einer zyklischen Folge das aus der Form entweichende Gasgemisch durch zwei hintereinander angeordnete Sorp-

tionssäulen (16, 17) bis zur Sättigung des Sorbens der ersten Sorptionssäule (16) geleitet und gleichzeitig eine in einem vorherigen Zyklus gesättigte Sorptionssäule (13) von der der Form zugeführten Frischluft durchströmt. Hierfür werden die Sorptionssäulen ausgetauscht, so daß das aus der Form entweichende Gasgemisch in einem folgenden Zyklus zuerst durch die im vorhergehenden Zyklus nachgeschaltete zweite Sorptionssäule und anschließend durch eine in einem vorhergehenden Zyklus desorbierte Sorptionssäule geleitet wird.

EP 0 379 741 A1



Verfahren zum Aushärten von Formkörpern, insbesondere von Gießformen oder -kernen aus Formsand

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Aushärten von Formkörpern, insbesondere von Gießformen oder -kernen aus Formsand, wobei ein Katalysator/Luftgemisch durch eine mit einem aushärtenden Bindemittel versetzte Formmasse und das aus der Form entweichende Gasgemisch durch einen den Katalysator vom Luftstrom trennenden Adsorptionsapparat geleitet wird.

Zum Aushärten von Formkörpern, z. B. Gießformen oder -kernen aus Formsand, wird in bekannter Weise die mit einem aushärtenden Bindemittel versetzte Formmasse, z. B. Formsand, in einer Form verdichtet und durch Begasung mit einem Katalysator ausgehärtet. Der Katalysator wird dabei mit Hilfe eines Trägergases durch die poröse Formmasse hindurchgeleitet und wird von der Art des Bindemittels bestimmt. Zu den üblichen Bindemitteln zur Herstellung von Gießformen und -kernen gehören z.B. Wasserglas, Phenolharze, Isocyanate, Furanharze u. dgl. Als Katalysator für polymerisierbare Kunstharze werden vor allem flüssige Amine verwendet, die aber wegen ihrer gesundheitsschädlichen Eigenschaften erhebliche Aufwendungen für Schutzmaßnahmen verlangen. Aus der DE-OS 26 21 153 ist bekannt, als Trägergas Stickstoff zu verwenden und das zum Aushärten verwendete Katalysatorgas zwecks Rückgewinnung und Wiederverwendung in einer Kältefalle zu kondensieren. Der als Trägerstoff und als Kühlmittel benutzte flüssige Stickstoff ist sehr teuer; weiterhin werden sehr aufwendige Anlagenteile benötigt. In der EP-B1-128 974 ist vorgesehen, die aus der Form entweichenden Abgase durch einen Adsorptionsapparat zu leiten, in dem die schädlichen Bestandteile abgetrennt werden. Da die Adsorptionsfähigkeit der verwendeten Aktivkohle begrenzt ist, ist ein häufiger Ersatz der Aktivkohle erforderlich, und die mit den giftigen Bestandteilen angereicherte Aktivkohle muß auf umständliche und teure Weise entsorgt werden.

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art derart weiterzuentwickeln, daß der vom Trägergas abgetrennte Katalysator auf besonders preiswerte Art und Weise zum Aushärten von Formkörpern wiederverwendbar ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß in einer zyklischen Folge das aus der Form entweichende Gasgemisch durch zwei hintereinander angeordnete Sorptionssäulen bis zur Sättigung des Sorbens der ersten Sorptionssäule geleitet und gleichzeitig eine in einem vorherigen Zyklus gesättigte Sorptionssäule von der der Form zugeführten Frischluft durchströmt wird.

Nach dem neuen Verfahren wird der durch

Adsorption zurückgewonnene Katalysator durch eine einfache Desorption wieder dem der Form zugeführten Katalysator/Luftgemisch zugeleitet. Der Katalysator wird in an sich bekannter Weise durch Adsorption von der Trägerluft getrennt, wobei die nachgeschaltete zweite Sorptionssäule eine nahezu vollständige Reinigung der Luft sicherstellt und Adsorptionskapazität zur Verfügung stellt, wenn das vom Gasgemisch durchströmte Sorbens der ersten Sorptionssäule mit Katalysator gesättigt ist, dieser also keinen Katalysatorstoff mehr durch Adhäsion festzuhalten vermag. Hat diese Säule den gesättigten Zustand erreicht oder nahezu erreicht, kann die Betriebsfähigkeit für weitere Formungs- und Aushärtungsvorgänge durch einfaches Austauschen der Sorptionssäulen oder durch einfaches Umleiten der Gasströme erzielt werden. Die einmal gesättigte Sorptionssäule wird so angeordnet bzw. angeschlossen, daß sie von der Frischluft, die noch mit dem Katalysator angereichert werden muß, durchströmt wird. Die Frischluft nimmt den am Sorbens haftenden Katalysator mit, so daß die Frischluft mit dem wiedergewonnenen Katalysator angereichert wird und entsprechend weniger neuer Katalysator eingeschleust werden muß. Außerdem wird die gesättigte Sorptionssäule durch eine andere adsorptionsfähige Sorptionssäule ersetzt, die beim folgenden Zyklus vom Abgas der Form durchströmt wird, bis auch bei diesen nach einer bestimmten Betriebszeit bzw. einer bestimmten Anzahl von Formungs- und Aushärtungsvorgängen eine Sättigung erreicht ist. Dann werden die Sorptionssäulen in der vorgenannten Weise ausgetauscht bzw. angeschlossen.

Zwar kann für jeden neuen Zyklus auch die nachgeschaltete zweite Sorptionssäule durch eine zuvor desorbierte bzw. regenerierte Sorptionssäule ersetzt werden. Doch läßt sich der apparative und der Arbeitsaufwand dadurch verringern, daß das aus der Form entweichende Gasgemisch in einem folgenden Zyklus zuerst durch die im vorhergehenden Zyklus nachgeschaltete zweite Sorptionssäule und anschließend durch eine in einem vorhergehenden Zyklus desorbierte Sorptionssäule geleitet wird. Die nachgeschaltete Sorptionssäule hat, wenn die vorgeschaltete erste Sorptionssäule gesättigt ist, noch soviel Kapazität, daß sie an die Stelle der ersten Sorptionssäule treten kann. Hingegen wird für jeden neuen Zyklus als zweite Sorptionssäule eine völlig desorbierte Sorptionssäule eingesetzt, die also ihre volle Adsorptionsfähigkeit besitzt. Die volle Adsorptionsfähigkeit kann dadurch geschaffen werden, daß die von der Frischluft durchströmte Sorptionssäule vor ihrem nächsten Einsatz als nachgeschaltete zweite Sorptionssäule durch eine

Wärmebehandlung regeneriert wird.

Bei dem bekannten Verfahren nach der EP-B1-128 974 wird der flüssige Katalysator in einer Mischkammer der Trägerluft zugeführt. Dabei wird jedoch ein Teil des Katalysators nicht verdampft. Für eine schnelle und gute Aushärtung sollte der Katalysator jedoch dampfförmig der Formmasse zugeführt werden. Um die in dem Aerosol verbliebenen flüssigen Bestandteile auch zu verdampfen, wird zweckmäßig der durch eine Sorptionssäule geströmten Frischluft der Katalysator zugemischt und das Katalysator/Luftgemisch vor dem Einleiten in die Form durch eine Sorptionssäule geleitet. Das Sorbens dieser Sorptionssäule bewirkt eine Oberflächenvergrößerung zwischen den flüssigen Bestandteilen und der Trägerluft und damit eine beschleunigte Verdampfung. Im Gegensatz zu den der Rückgewinnung dienenden Sorptionssäulen wird diese der Restverdampfung des Katalysators dienende Sorptionssäule, die im Sättigungsbereich arbeitet, nicht ausgetauscht.

Als Sorbens in den Sorptionssäulen sind verschiedene Stoffe, z.B. Silikagel, Diatomeenerde oder, bevorzugt, Aktivkohle geeignet.

Das Beimischen des Katalysators zur Trägerluft und die Restverdampfung läßt sich in besonders einfacher Weise in einem von der Frischluft durchströmten Behälter vornehmen, der im unteren Bereich mit einem flüssigen Katalysator gefüllt ist, in den saugfähige Platten oder Bänder eintauchen, die zwecks Benetzung mit einem Sorbens in Verbindung stehen, das im oberen Bereich des Behälters angeordnet ist, und wobei die Zuleitung für die Frischluft und die Ableitung für das Katalysator/Luftgemisch eine zur Anbzw. Durchströmung der Platten bzw. Bänder und des Sorbens geeignete Anordnung haben.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert; es zeigt

Fig. 1 eine Einrichtung zum Aushärten von Formkörpern in einem Fließschema,

Fig. 2 das Adsorptionsverhalten einer Sorptionssäule in einem Diagramm und

Fig. 3 eine Vorrichtung zum Beimischen und Verdampfen von Katalysator in Trägerluft.

Die in Fig. 1 schematisch dargestellte Form 1 dient der Herstellung von Formkörpern, z. B. von Gießformen oder -kernen aus Formsand, der mit einem Bindemittel versetzt ist, das durch Einwirkung eines Katalysators aushärtet. Geeignet ist beispielsweise eine Formmaschine, wie sie in der EP-B1-128 974 beschrieben ist und bei der das Einfüllen und Verdichten des Formsandes durch Vakuum oder in Verbindung mit Druckgas erfolgen kann. Zur Aushärtung des verdichteten Formsandes wird über eine Zuleitung 2 in die Form 1 ein Katalysator/ Luftgemisch geleitet, welches durch die poröse Formmasse fließt und über eine Ablei-

tung 3 entweicht. Als Bindemittel kommen polymerisierbare Kunstharze, z. B. Phenolharze, Isocyanate, Furanharze u. dgl. und als Katalysatoren Methy-lal, Acrylal, Methylformiat und insbesondere Amine in Betracht.

Der Katalysator wird in einer Mischkammer 4 einer Trägerluft zugemischt. Die Trägerluft wird über eine Zuleitung 5 eingeleitet und der flüssige Katalysator über eine Leitung 6 eingespritzt, so daß ein möglichst großer Anteil des Katalysators verdampft. Zur Restverdampfung des noch flüssigen Katalysators wird das Katalysator/Luftgemisch durch eine Sorptionssäule 7 geleitet, die z.B. mit Aktivkohle oder anderen oberflächenaktiven Stoffen wie Silikagel, Diatomeenerde o. dgl. gefüllt ist. Das Sorbens vergrößert die Oberfläche zwischen der flüssigen und gasförmigen Phase, so daß der Katalysator restlos verdampft.

Parallel zur Mischkammer 4 und der Sorptionssäule 7 ist ein Bypass 8 vorgesehen, in dem sich eine Heizeinrichtung 9 befindet. In Verbindung mit einem Sperrventil 10 und einem Rückschlagventil 11 kann über den Bypass 8 und eine Leitung 12 erhitzte Spülluft in die Form 1 geleitet werden.

Die durch die Leitung 12 zufließende Trägerluft für den Katalysator hat eine Sorptionssäule 13 durchströmt, die z. B. mit Aktivkohle gefüllt ist und die über eine Leitung 14 Frischluft erhält. In der Leitung 12 ist ein Drosselventil 15 angeordnet.

Das aus der Form 1 entweichende Gasgemisch wird durch zwei hintereinander angeordnete Sorptionssäulen 16,17 geleitet, die mit Aktivkohle oder einem anderen oberflächenaktiven Stoff wie Silikagel, Diatomeenerde o. dgl. gefüllt sind. Die an die nachgeschaltete zweite Sorptionssäule anschließende Ableitung für die gereinigte Luft ist mit 18 bezeichnet.

Zum Aushärten des in der Formmasse befindlichen Bindemittels wird das gasförmige bzw. dampfförmige Katalysator/ Luftgemisch über die Leitung 2 in die Form 1 geleitet. Das aus der Form 1 entweichende Gasgemisch wird den Sorptionssäulen 16,17 zugeführt. Dabei wird der größte Teil des Katalysators in der ersten Sorptionssäule 16 adsorbiert, während die Restmenge des in dem Luftstrom befindlichen Katalysators in der zweiten Sorptionssäule 17 adsorbiert wird. Das aus Einfüllen, Verdichten, Aushärten und Spülen bestehende Formgebungsverfahren wird so lange wiederholt, bis die erste Sorptionssäule 16 mit Katalysator gesättigt ist. Durch einen Versuch kann ermittelt werden, nach welcher Betriebszeit bzw. Anzahl von Formungs- und Aushärtungsvorgängen die Sorptionssäule 16 mit Katalysator gesättigt ist. Für den weiteren Betrieb kann dann die Betriebszeit oder die Anzahl der Formungs- und Aushärtungsvorgänge ein Parameter für den Sättigungsgrad sein. Versuche haben ergeben, daß die Sorptionssäule

16 in Abhängigkeit von der Gasgeschwindigkeit bis zu etwa 500 g Amin pro kg Aktivkohle beladbar ist, während die Adsorptionssäule 17, um den Restgehalt an Katalysator von der Trägerluft abzufangen, bis maximal 1 mg Amin pro m³ Abluft beladen werden darf. In Fig. 2 ist das Adsorptionsvermögen von Aktivkohle gegenüber Amin gezeigt. Die obere Kurve 24 bezieht sich auf das Katalysator/Luftgemisch, wie es der Form 1 zugeführt wird und die S-förmige Kurve 25 auf die gereinigte Luft. Links von der Kurve 25 befindet sich der brauchbare Adsorptionsbereich, während rechts davon der Durchbruchsbereich liegt, wo keine weitere Adsorption stattfinden kann.

Ist bei der Sorptionssäule 16 die Sättigung erreicht oder nahezu erreicht, ist ein sogenannter Zyklus beendet. Die gesättigte Sorptionssäule 16 wird nun durch die Sorptionssäule 17 ersetzt, die in dem Zyklus mit einer sehr kleinen Menge Katalysator beladen war. An die Stelle der Sorptionssäule 17 wird eine regenerierte Sorptionssäule gesetzt, welche ihre volle Adsorptionskapazität besitzt. Damit ist die Abgasseite für einen nächsten Zyklus betriebsbereit. Die entnommene gesättigte Sorptionssäule 16 wird an Stelle der durch die Trägerluft desorbierten Sorptionssäule 13 an die Leitungen 14,12 angeschlossen; damit ist auch die Zuleitungsseite für den nächsten Zyklus betriebsbereit.

Bei den folgenden Aushärtungsfolgen wird die gesättigte Sorptionssäule, die durch den Austausch nun das Bezugszeichen 13 führt, von der Frischluft durchströmt, wobei eine Desorption stattfindet, das heißt, der an der Aktivkohle haftende Katalysator wird von der Frischluft mitgeführt und über die Mischkammer 4 der Form 1 zugeführt. Damit erhält die Sorptionssäule 13 ihre Adsorptionskapazität wieder zurück. Am Ende eines Zyklus (dessen Dauer von der Sättigung der Sorptionssäule 16 bestimmt wird), ist die Sorptionssäule 13 im wesentlichen von Katalysator frei. Nach einem Zyklus wird sie zweckmäßig durch eine Wärmebehandlung regeneriert und kann dann erneut als nachgeschaltete zweite Sorptionssäule 17 Verwendung finden.

Am Ende eines jeden Zyklus findet der vorgenannte Austausch der Sorptionssäulen 16,17 und 13 statt.

Die in Fig. 3 dargestellte Vorrichtung dient der Beimischung und Verdampfung des Katalysators in der Trägerluft und kann anstelle der Mischkammer 4 und der Sorptionssäule 7 angewendet werden. Sie besteht aus einem geschlossenen Behälter 19, in dessen unterem Bereich flüssiger Katalysator 20 angeordnet ist. In den Katalysator 20 tauchen mehrere saugfähige Platten 21 oder Bänder aus Zellstoff o. dgl. ein, die an eine saugfähige Scheibe 22 anschließen, auf der Aktivkohle o. dgl. als Sorbens aufgefüllt ist. Die Zuleitung 5 (vgl. auch Fig. 1)

mündet etwas über der Oberfläche des Katalysators 20 in den Behälter 19 und die zur Form 1 führende Leitung 2 schließt am Kopf des Behälters 19 an, so daß der Gasstrom durch die mit der Katalysatorflüssigkeit vollgesaugten Platten 21 und durch die Aktivkohle 23 strömt und dabei der Katalysator 20 verdampft.

10 Ansprüche

1. Verfahren zum Aushärten von Formkörpern, insbesondere von Gießformen oder -kernen aus Formsand, wobei ein Katalysator/Luftgemisch durch eine mit einem aushärtenden Bindemittel versetzte Formmasse und das aus der Form entweichende Gasgemisch durch einen den Katalysator vom Luftstrom trennenden Adsorptionsapparat geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, daß in einer zyklischen Folge das aus der Form (1) entweichende Gasgemisch durch zwei hintereinander angeordnete Sorptionssäulen (16,17) bis zur Sättigung des Sorbens der ersten Sorptionssäule (16) geleitet und gleichzeitig eine in einem vorherigen Zyklus gesättigte Sorptionssäule (13) von der der Form (1) zugeführten Frischluft durchströmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das aus der Form (1) entweichende Gasgemisch in einem folgenden Zyklus zuerst durch die im vorhergehenden Zyklus nachgeschaltete zweite Sorptionssäule (17) und anschließend durch eine in einem vorhergehenden Zyklus desorbierte Sorptionssäule (13) geleitet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die von der Frischluft durchströmte Sorptionssäule (13) vor ihrem nächsten Einsatz als nachgeschaltete zweite Sorptionssäule durch eine Wärmebehandlung regeneriert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der durch eine Sorptionssäule (13) geströmten Frischluft der Katalysator zugemischt und das Katalysator/Luftgemisch vor dem Einleiten in die Form (1) durch eine Sorptionssäule (7) geleitet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Sorbens in den Sorptionssäulen (7,13,16,17,19) Aktivkohle verwendet wird.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch einen von der Frischluft durchströmten Behälter (19), der im unteren Bereich mit einem flüssigen Katalysator (20) gefüllt ist, in den saugfähige Platten oder Bänder (21) eintauchen, die zwecks Benetzung mit einem Sorbens (23) in Verbindung stehen, das im oberen Bereich des Behälters (19) angeordnet ist, und daß die Zuleitung für die Frischluft und die

Ableitung für das Katalysator/ Luftgemisch eine zur An- bzw. Durchströmung der Platten bzw. Bänder (21) und des Sorbens (23) geeignete Anordnung haben.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

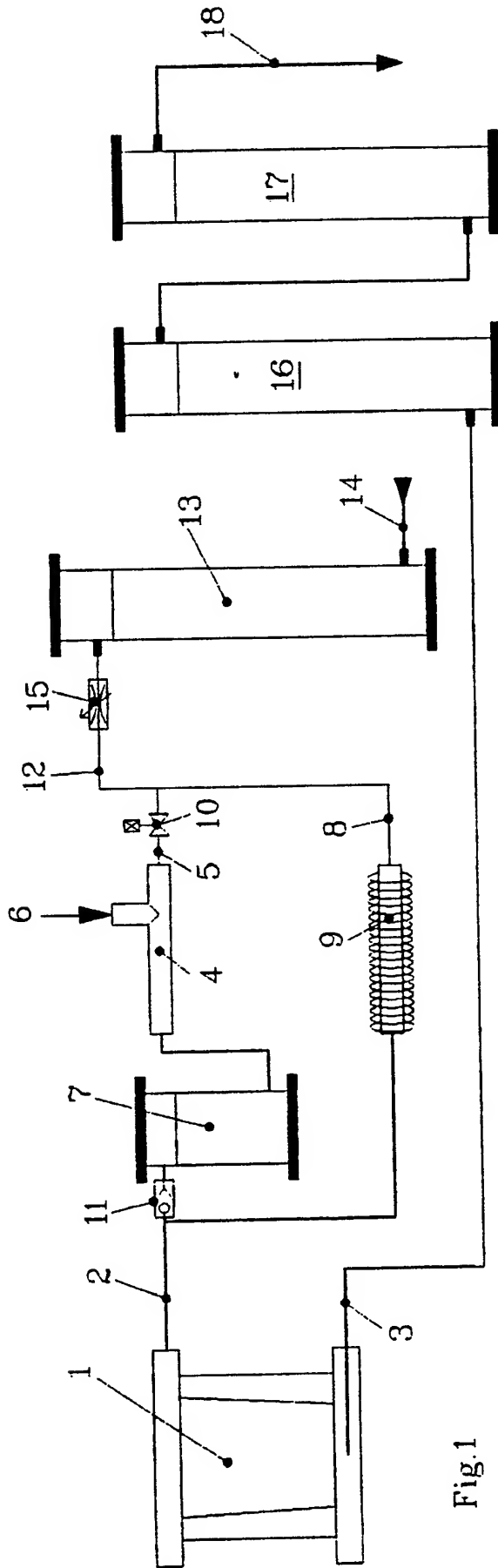


Fig. 1

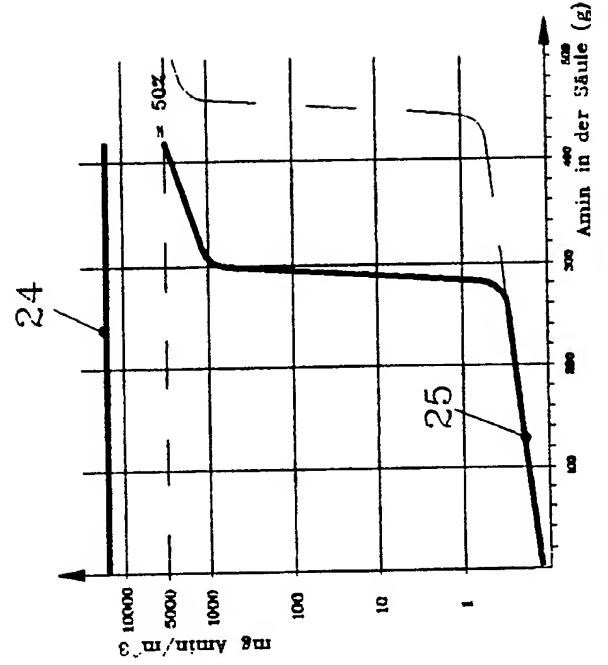


Fig. 2

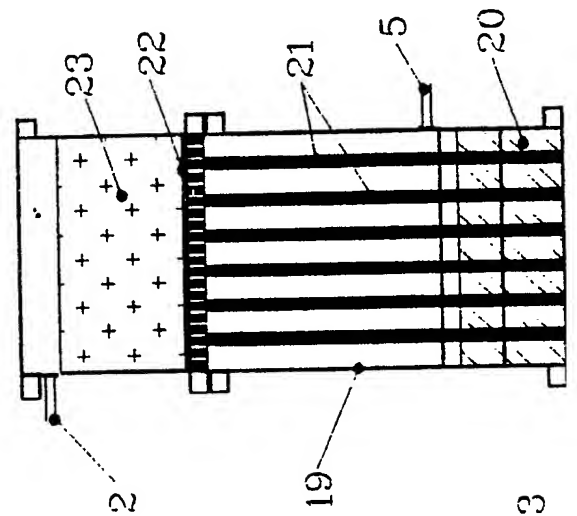


Fig. 3



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
Y	FONDERIE, FONDEUR D'AUJOURD'HUI, Band 59, November 1986, Seiten 7-11; M. CHARBONNIER et al.: "Elimination de la diméthyléthylamine dans les effluents gazeux du procédé Ashland" * Seite 8, Spalte 2, Zeilen 12-28 * ---	1,2,5	B 22 C 9/12
Y	US-A-3 116 130 (A.J. MILLER) * Figuren 2,3; Spalte 4, Zeile 74 - Spalte 5, Zeile 48 * ---	1,2,5	
A,D	DE-A-2 621 153 (DAIMLER-BENZ) ---		
A,D	EP-A-0 128 974 (E. JAEGER) ---		
A	US-A-3 919 162 (W.E. AUSTIN) -----		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5)
			B 22 C B 01 D
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 22-09-1989	Prüfer MAILLIARD A.M.
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

PUB-NO: EP000379741A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: EP 379741 A1
TITLE: Method for hardening shaped articles, especially casting moulds and cores made of moulding sand.
PUBN-DATE: August 1, 1990

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
JAEGER, ERHARD PROF DIPL-ING	N/A
STEFFENS, UWE	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
STEFFENS HARALD GIESSEREIMASCH	DE
GEMI GES FUR MESS UND INFORMAT	DE

APPL-NO: EP89200139
APPL-DATE: January 24, 1989

PRIORITY-DATA: EP89200139A (January 24, 1989)

INT-CL (IPC): B22C009/12

EUR-CL (EPC): B22C009/12

US-CL-CURRENT: 164/16

ABSTRACT:

For hardening shaped articles, especially casting moulds and cores made of moulding sand, the method employed is one in which a catalyst/air mixture is passed through a moulding compound (1), to which a curing binder has been added, and the gas mixture escaping from the mould is passed through an adsorption apparatus (16, 17) which separates the catalyst from the air stream. For recovery and reuse of the catalyst, the gas mixture escaping from the mould is passed in a cyclical sequence through two sorption columns (16, 17) arranged in series, until the sorbent of the first sorption column (16) is saturated, and the fresh air fed to the mould simultaneously flows through a sorption column (13) saturated in a previous cycle. For this purpose, the sorption columns are interchanged, with the result that, in a following cycle, the gas mixture escaping from the mould is passed first of all through the second sorption column connected downstream in the preceding cycle, and then through a sorption column desorbed in a preceding cycle. □